



LEARNING TOXICOLOGY
THROUGH OPEN EDUCATIONAL

POLYCYKLIKÉ AROMATICKÉ UHLOVODÍKY (PAU)

Ileana MANCIULEA, Lucia DUMITRESCU

Transylvánská Univerzita v Brašově

i.manciulea@unitbv.ro, lucia.d@unitbv.ro



ÚVOD

Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU) představují velkou skupinu organických sloučenin, perzistentních kontaminantů životního prostředí, s určitou strukturou a různou toxicitou, obsahující dva nebo více kondenzovaných aromatických kruhů. Do životního prostředí se uvolňují stovky jednotlivých PAU, a to jednak antropogenními procesy (neúplným spalováním nebo pyrolýzou organické hmoty) nebo dále přírodními procesy (lesními požáry, vulkanickými erupcemi a biologickou syntézou a degradací biomasy). Vzhledem k tomu, že PAU jsou detekovány ve vzduchu, půdě, vodě a při spalování, pyrolýze a v biologických procesech probíhajících v organické hmotě, vyskytují se všude, v životním prostředí jsou považovány za všudypřítomné. (Baklanov a kol., 2007) (WHO, 2003).

ZDROJE PAU

PAU jsou tvořeny pyrogenními, petrogenními a biologickými procesy. (a) *Pyrogenní PAU* se tvoří pokud je organická hmota vystavena vysokým teplotám (350°C -1200°C) při nízkém přívodu kyslíku nebo v podmínkách bez kyslíku. *Příklady pyrogenních procesů jsou:* tepelné krakování ropných zbytků na lehčí uhlovodíky, destilace uhlí, neúplné spalování paliv v topných systémech, pohonných hmot v osobních a nákladních automobilech a dřeva při lesních požárech a v lokálních topeništích apod. Ve větších koncentracích se pyrogenní PAU zpravidla nacházejí v městských oblastech a v místech blízkých *velkým zdrojům PAU* (průmyslové procesy, spalování v elektrárnách apod.) a *malým zdrojům PAU* (emise z automobilů, kouř z cigaret a kamen na dřevo, zplodiny proudových letadel, odpadní kaly, atd.). (Shafy and Mansour, 2013). Jako

největší zdroj PAU pro životní prostředí bylo identifikováno neúplné spalování, a to jak přirozené, tak antropogenní (Zhang and Tao, 2009).

(b) *Petrogenní polycyklické aromatické uhlovodíky* jsou ropné oleje tvořené po miliony let při nízkých teplotách (100° až 150 ° C) a k únikům dochází během přepravy, skladování a používání ropy či ropných produktů.

(c) *Přírodními zdroji PAU* jsou lesní požáry, vulkány, syntéza prostřednictvím bakterií a řas, průsaky ropy a rozklad biomasy. (Shafy a Mansour, 2013, CCME, 2010).

Stacionární zdroje produkují přibližně 80% celkových ročních emisí PAU; zbytek se tvoří z mobilních zdrojů (benzínových a dieslových motorových vozidel atd.). Ve srovnání s polycyklickými uhlovodíky vznikajícími nedokonalými spalovacími procesy nejsou emise PAU uvolňované průmyslovou výrobou významné, poněvadž se používají uzavřené systémy a recyklační procesy. Neúplným spalováním a chemickými reakcemi v ovzduší mohou vznikat nové heterocyklické aromatické sloučeniny (karbazol, akridin) a dále deriváty PAU, jako jsou nitro-deriváty a oxidované PAU. Tyto sloučeniny se vyskytují spolu s PAU ve vzduchu, ve vodě a potravinách a tato celková směs je označována jako polycyklické aromatické sloučeniny PAC. (IARC, 2010).

Některé PAU se používají jako suroviny:

- Acenaften: výroba pigmentů, barviv, plastů, pesticidů, léčiv.
- Antracen: ředidlo pro přípravky k ošetření dřeva a výroba barviv a pigmentů.
- Fluoranthen: výroba agrochemikálií, barviv a léčiv.
- Fluoren: výroba léčiv, pigmentů, barviv, pesticidů a termosetového plastu.
- Fenantren: výroba pryskyřic a pesticidů.
- Pyren: výroba pigmentů.

Ke snížení emisí PAU došlo v padesátých letech minulého století zavedením prvních opatření k zajištění čistého ovzduší. V současné době legislativa týkající se povolených koncentrací PAU ve vzduchu spolu s právními předpisy zakazujícími nekontrolované spalování průmyslových a zemědělských odpadů nadále snižuje koncentrace PAU ve vnějším ovzduší. V rozvojových zemích

(Čína, Indie, Brazílie, Súdán atd.), kde je biomasa a uhlí dominantním zdrojem energie, jsou koncentrace PAU stále příliš vysoké. (IARC, 2010; Kim a kol., 2013).

CHEMICKÁ STRUKTURA PAU

Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU) tvoří velkou skupinu organických sloučenin skládající se ze dvou nebo více benzenových kruhů spojených v lineárních, klastrových nebo angulárních strukturách. Nejvýznamnější karcinogenní polycyklické aromatické uhlovodíky jsou uvedeny v tabulce 1.

Podle počtu benzenových kruhů jsou PAU děleny na: *sloučeniny s nízkou molekulovou hmotností* skládající se z méně než čtyř aromatických kruhů a *sloučeniny o vysoké molekulové hmotnosti* o čtyřech a více aromatických jádrech. PAU se dvěma nebo třemi kruhy (naftalen, acenaften, antracen, fluoren, fenantren) jsou přítomny ve vzduchu převážně v plynné fázi. PAU se čtyřmi kruhy (fluoranthen, pyren, chrysen) existují jak ve fázi par, tak ve formě částic a PAU s pěti nebo více kruhy (benzo [g, h, i] perylen atd.) se nacházejí převážně ve formě částic. Menší molekuly, jako benzen, toluen a bicyklický aromatický uhlovodík naftalen, nejsou považovány za pravé PAU. Nejúčinnějšími karcinogeny ze skupiny PAU, které byly intenzivně studovány, jsou 7,12-dimethylbenzanthracen (DMBA) a benzo(a)pyren (BaP) (CCME, 2010; Shafy and Mansour, 2013).

Tabulka 1. Příklady polycyklických aromatických uhlovodíků.

Název (acronym)	Vzorec	Název (acronym)	Vzorec
benzo[a]antracen (BaA)		cyklopenta[c,d]pyren (CPP)	
benzo[a]pyren (BaP)		dibenzo[a,e]pyren (DeP)	
benzo[b]fluoranten (BbF)		dibenzo[a,h]antracen (DhA)	
benzo[g,h,i]perylen (BgP)		dibenzo[a,h]pyren (DhP)	
benzo[c]fluoren (BcL)		dibenzo[a,i]pyren (DiP)	
benzo[j]fluoranten (BjF)		dibenzo[a,l]pyren (DlP)	
benzo[k]fluoranten (BkF)		indeno[c,d]pyren (IcP)	
chrysen (CHR)		5-methylchrysen (5-MC)	

Z několika stovek chemicky příbuzných sloučenin, které jsou perzistentní, bylo podle vědeckého výboru pro potraviny (*The Scientific Committee on Food*)

vybráno na základě jejich výskytu a toxických účinků 33 jednotlivých PAU (uvedených v tabulce 2), která představují rizika pro lidské zdraví (PAHs in food 2002).

Tabulka 2 PAU představující rizika pro lidské zdraví

Název	CAS název	CAS Registr č.	Zkratka
Acenaften	Acenaphthylene	83-32-9 AC	AC
Acenaftylen	Acenaphthylene, 1,2-dihydro	208-96-8	ACL
Antantren	Dibenzo[def,mno]chrysene	191-26-4	ATR
Antracen	Anthracene	120-12-7	AN
Benz[a]antracen	Benz[a]anthracene	56-55-3	BaA
Benzo[a]fluoren	11 H-Benzo[a]fluorene	238-84-6	BaFL
Benzo[b]fluoren	11 H-Benzo[b]fluorene	243-17-4	BbFL
Benzo[b]fluoranten	Benz[e]acephenanthrylene	205-99-2	BbFA
Benzo[ghi]fluoranten	Benzo[ghi]fluoranthene	203-12-3	BghiF
Benzo[j]fluoranten	Benzo[j]fluoranthene	205-82-3	BjFA
Benzo[k]fluoranten	Benzo[k]fluoranthene	207-08-9	BkFA
Benzo[ghi]perylen	Benzo[ghi]perylene	191-24-2	BghiP
Benzo[c]fenantren	Benzo[c]phenanthrene	195-19-7	BcPH
Benzo[a]pyren	Benzo[a]pyrene	50-32-8	BaP
Benzo[e]pyren	Benzo[e]pyrene	192-97-2	BeP
Chrysen	Chrysen	218-01-9	CHR
Koronen	Coronen	191-07-1	COR
Cyklopenta[cd]pyren	Cyclopenta[cd]pyrene	27208-37-3	CPP
Dibenz[a,h]antracen	Dibenz[a,h]anthracene	53-70-3	DBaHA
Dibenzo[a,e]pyren	Naphtho[1,2,3,4-def]chrysene	192-65-4	DBaeP
Dibenzo[a,h]pyren	Dibenzo[b,def]chrysene	189-64-0	DBahP
Dibenzo[a,i]pyren	Benzo[rsf]pentaphene	189-55-9	DBaiP
Dibenzo[a,l]pyren	Dibenzo[def,p]chrysene	191-30-0	DBalP
Fluoranten	Fluoranthene	206-44-0	FA
Fluoren	9H-Fluorene	86-73-7	FL
Indeno[1,2,3-cd]pyren	Indeno[1,2,3-cd]-pyrene	193-39-5	IP
5-Methylchrysen	Chrysene, 5-methyl-	3697-24-3	5-MCH
1-Methylfenantren	Phenanthrene, 1-methyl-	832-69-9	1-MPH
Nafthalen	Naphthalene	91-20-3	NA
Perylen	Perylene	198-55-0	PE
Fenantren	Phenanthrene	85-01-8	PHE
Pyren	Pyrene	129-00-0 P	Y
Trifenylen	Triphenylene	217-59-4	TRI

Zdroj: PAHs in food 2002 - Opinion of SCF on the risks to human health
http://europa.eu.int/comm/food/fs/sc/scf/index_en.html

Fyzikálně chemické vlastnosti PAU

Čisté PAU jsou při běžné teplotě obvykle barevné, krystalické pevné látky (Masih et al., 2012). Obecné charakteristiky PAU jsou vysoké teploty tání a teploty varu, nízká tenze par a velmi nízká rozpustnost ve vodě. Fyzikální a chemické vlastnosti některých vybraných PAU jsou uvedeny v tabulce 3.

Tabulka 3. Fyzikální a chemické vlastnosti PAU

Sloučenina	Bod tání (°C)	Bod varu (°C)	Tenze par (Pa při 25 °C)	Rozděl. koeficient oktanol: voda (Log Kow)	Rozpustn. ve vodě při 25 °C (µg/litr)	Henryho konstanta při 25 °C (kPa)
Acenaftylen	92-93	279	$8,9 \times 10^{-1}$	4,07	-	$1,14 \times 10^{-3}$
Acenaften	95	295	$2,9 \times 10^{-1}$	3,92	$3,93 \times 10^3$	$1,48 \times 10^{-2}$
Fluoren	115–116	340	$8,0 \times 10^{-2}$	4,18	$1,98 \times 10^3$	$1,01 \times 10^{-2}$
Fenantren	100,5	342	$1,6 \times 10^{-2}$	4,6	$1,29 \times 10^3$	$3,98 \times 10^{-3}$
Antracen	216,4	375	$8,0 \times 10^{-4}$	4,5	73	$7,3 \times 10^{-2}$
Fluoranten	108,8	393	$1,2 \times 10^{-3}$	5,22	260	$6,5 \times 10^{-4}$
Pyren	150,4	400	$6,0 \times 10^{-4}$	5,18	135	$1,1 \times 10^{-3}$
Benz[<i>a</i>]antracen	160,7	448	$2,8 \times 10^{-5}$	5,61	14	-
Chrysen	253,8	481	$8,4 \times 10^{-5}$	5,91	2,0	-
Benzo[<i>b</i>]fluoranten	168,3	480	$6,7 \times 10^{-5}$	6,12	1,2 (20°C)	$5,1 \times 10^{-5}$
Benzo[<i>j</i>]fluoranten	165,4	480	$2,0 \times 10^{-6}$	6,12	2,5	-
Benzo[<i>k</i>]fluoranten	215,7	496	$1,3 \times 10^{-8}$	6,84	0,76	$4,4 \times 10^{-5}$ (20 °C)
Benzo[<i>a</i>]pyren	178,1	536	$7,3 \times 10^{-7}$	6,50	3,8	$3,4 \times 10^{-5}$
Indeno[1,2,3- <i>c,d</i>]pyren	163,6	524	$1,3 \times 10^{-8}$	6,58	62	$2,9 \times 10^{-5}$ (20 °C)
Dibenz[<i>a,h</i>]antracen	266,6	594	$1,3 \times 10^{-8}$	6,50	0,5 (27°C)	7×10^{-6}
Dibenzo[<i>a,i</i>]pyren	282	525	$3,2 \times 10^{-10}$	7,30	0,17	$4,31 \times 10^{-6}$
Koronen	439		2×10^{-10}	-	5,4	0,14

Zdroj: Joint WHO 2003

Fyzikálně-chemické vlastnosti PAU se značně liší svou molekulovou hmotností a strukturou. S rostoucí molekulovou hmotností se snižuje tenze par PAU a jejich rozpustnost ve vodě. S molekulovou hmotností se rovněž zvyšuje rezistence vůči oxidačním a redukčním reakcím. PAU jsou vysoce lipofilní, a proto jsou mísitelné s organickými rozpouštědly (CMME, 2010). Rozpustnost ve vodě klesá s každým dalším kruhem přidaným do PAU a činí je vysoce mobilní v životním prostředí. Ukládání a odpařování je rozděluje mezi vzduch, půdu a vodu. Určitá část PAU

podléhá atmosférickému transportu na dlouhé vzdálenosti (LRAT). Po uvolnění do atmosféry se PAU nacházejí ve dvou oddělených fázích, ve formě par a v pevné fázi, z nichž jsou PAU sorbovány na pevné částice. PAU také vykazují citlivost na světlo, tepelnou odolnost, odolnost vůči korozi a fyziologickou aktivitu (Masih et al., 2012). PAU mají velmi charakteristické absorpční spektrum a většina z nich také výraznou fluorescenci (Kim et al., 2013). I když se účinky jednotlivých PAU na zdraví liší, u některých z nich panují obavy z velmi negativního působení na člověka.

PERZISTENCE, TRANSFORMACE V ŽIVOTNÍM PROSTŘEDÍ

PAU V ATMOSFÉŘE

Chování PAU v atmosféře závisí na komplexu fyzikálně-chemických reakcí, interakcí s jinými znečišťujícími látkami, fotochemických transformací a suché a mokré depozici (Zhong and Zhu, 2013). PAU ve volném ovzduší existují v plynné fázi nebo se adsorbují na pevné částice v závislosti na atmosférických podmínkách (teplotě, vlhkosti, původu a vlastnostech aerosolů) a na vlastnostech PAU (Zhang and Tao, 2009). Nízkomolekulární PAU (se dvěma, třemi nebo čtyřmi kruhy) se vyskytují převážně v plynné fázi, jsou méně toxické, ale jsou schopny reagovat s jinými polutanty (ozonem, oxidy dusíku a oxidem siřičitým) za vzniku sloučenin s vysokou toxicitou (diony, tj. diketony a dinitro-deriváty, kyselina sírová). PAU se čtyřmi nebo více kruhy se v životním prostředí nepatrně odpařují a vyskytují se v ovzduší především ve formě částic. V létě či v tropických oblastech se zvyšují koncentrace PAU v plynné fázi a v zimě nebo v arktických oblastech převažují PAU ve formě prachových částic. Adsorpce PAU na pevné částice závisí na vlhkosti a na typech rozptýlených částic (např., saze, prach, popílký, oxidy kovů, pyly atd.) (Lai a kol., 2011; Kim a kol., 2013).

PAU V PŮDĚ A VE VODĚ

Atmosférické PAU jsou nepřetržitě ukládány na zemském povrchu suchou nebo mokrou depozicí. PAU uložené na zemském povrchu se mohou stát mobilními a

vázat se na částice půdy, proces je ovlivněný pohyblivostí částic PAU v půdě, velikostí částic a velikostí pórů půdy. Při určování sorpce PAU do půdy je důležitý rozdělovací koeficient oktanol – voda (K_{ow}). Poněvadž K_{ow} souvisí s rozpustností organické sloučeniny ve vodě, se zvýšením K_{ow} , rozpustnost ve vodě klesá a zvyšuje se tendence k sorpci PAU do půdy. PAU uvolněné do atmosféry jsou transportovány na krátké a dlouhé vzdálenosti a odstraňovány mokrou a suchou depozicí v půdě, vodě a vegetaci. V povrchové vodě se mohou PAU vypařovat, fotolyzovat, biodegradovat nebo se vázat na suspendované částice nebo sedimenty. Rezidenční čas v atmosféře závisí na velikosti částic, na které jsou PAU adsorbovány, a na klimatických podmínkách. Kolem 90-95% částic s PAU má průměr $<3,3 \mu\text{m}$. Částice o průměru $0,1-3,0 \mu\text{m}$, na které jsou v ovzduší PAU především vázány, mají rezidenční čas několik dní a mohou prodělavat dálkový transport (ILRT) (Shafy and Mansour, 2013, CCME, 2010). Vodní organismy, které PAU metabolizují v malém rozsahu nebo vůbec ne (řasy, měkkýši) a nižší bezobratlí (prvoci, houbovci a žahavci), kumulují vysoké koncentrace PAU, jak by se dalo očekávat od hodnot $\log K_{ow}$. Organismy, které metabolizují PAU ve velkém rozsahu (ryby, vyšší bezobratlí), kumulují PAU málo nebo vůbec. Koncentrace PAU ve vegetaci je zpravidla nižší než v půdě, faktory bioakumulace se pohybují v rozmezí 0,0001 až 0,33 pro benzo[a]pyren (BaP) a 0,001 až 0,18 pro 17 dalších testovaných PAU. Biomagnifikace PAU nebyla ve vodních systémech pozorována, protože většina mikroorganismů má vysoký biotransformační potencial těchto látek. Organismy na vyšších trofických úrovních v potravních řetězcích vykazují nejvyšší biotransformační potencial (WHO 2003, IARC, 2010). Fotolýza je nejdůležitějším faktorem při poklesu částic s PAU v atmosféře, vodě a půdě. Poločasy ve vzduchu jsou odhadovány v rozmezí několika minut až jednoho týdne, a to podle období (delší v zimě), látek a složení částic (WHO, 2003). PAU v půdě se mohou vypařovat, podléhat abiotické degradaci (fotolýze a oxidaci), biodegradovat, kumulovat se v rostlinách nebo vstoupit do podzemních vod a mohou být transportovány uvnitř podzemní vrstvy. Na základě experimentálních výsledků byly odhadnuty pro PAU poločasy (dny) v půdě (tabulka 4).

Tabulka 4 Poločasy (dny) PAU v půdě

Sloučenina	Odhadovaný poločas (dny)
Naftalen	2,1–2,2
Antracen	10–134
Fenantren	16–35
Fluoranten	268–377
Pyren	199–260
Chrysen	371–387
Benzo[a]pyren	229–309

Zdroj: WHO, 2003

EXPOZICE LIDÍ PAU

Cesty expozice zahrnují: a) požití potravy obsahující PAU b) vdechování znečištěného okolního a vnitřního ovzduší, kouře nebo kouře z otevřených topenišť, c) dermální kontakt při profesionální a neprofesionální expozici. Tabákový kouř obsahuje různé PAU, jako je benzo(a)pyren a více než 40 známých nebo podezřelých lidských karcinogenů. Některé plodiny (pšenice, žito a čočka) mohou syntetizovat PAU nebo je absorbovat s vodou, vzduchem nebo půdou. Voda může také obsahovat určitá množství PAU, protože tyto polutanty se mohou vymývat z půdy do vody nebo mohou vstupovat do vody z průmyslových odpadních vod. Rovněž půda obsahuje PAU, a to z atmosferických spadů. Vzhledem k vysoké lipofilitě PAU, je jejich přítomnost v organismu po požití či inhalaci detekovatelná ve vnitřních orgánech bohatých na tukovou tkáň. Tyto orgány mohou sloužit jako depo, ze kterých mohou být PAU postupně uvolňovány. PAU po vstupu do organismu podléhají vícestupňové metabolické aktivaci specifickými enzymy oxidačního systému, které katalyzují epoxidaci. Epoxidy pak mohou být konjugovány s glutathionem, kdy dochází detoxikační reakci. Epoxidy, které nejsou konjugovány s glutathionem, jsou konvertovány na fenoly a dioly, které musí být konjugovány s kyselinami glukuronovou nebo

sírovou, aby byla umožněna jejich exkrece (WHO, 2003, IARC, 2010, Kim a kol., 2013).

VÝSKYT PAU V POTRAVINÁCH

Nezpracované potraviny by obvykle neměly obsahovat vysoké hladiny PAU. V oblastech vzdálených od městských nebo průmyslových aktivit hladiny PAU zjištěné v nezpracovaných potravinách odrážejí kontaminací prostředí - pozadí. Nebezpečné vzdušné polutanty obvykle pocházejí z dálkového transportu kontaminovaných částic vzduchem, dále z přírodních emisí ze sopek a lesních požárů. V blízkosti průmyslových oblastí nebo podél dálnic může být kontaminace vegetace desetkrát vyšší než ve venkovských oblastech. Zpracování potravin sušením, uzením a vařením jídel při vysokých teplotách (grilování, pražení, smažení) jsou hlavními zdroji, které vytvářejí PAU. V grilovaném mase byly zjištěny hladiny 130 mg/kg a v uzených rybách a mase 200 µg/kg PAU. U nevařených potravin jsou obecně průměrné hodnoty pozadí v rozmezí 0,01-1 µg/kg. Výskyt PAU v potravinách se řídí stejnými fyzikálně chemickými faktory (relativní rozpustností PAU ve vodě a organických rozpouštědlech), které určují jejich absorpci a distribuci v živých organizmech. Rozpustnost určuje jejich transportní kapacitu a distribuci mezi různými složkami životního prostředí a jejich vychytávání a kumulaci živými organizmy. Transport PAU v atmosféře je ovlivněn jejich těkavostí (volatilitou). Chemická reaktivita PAU ovlivňuje adsorpci na organický materiál nebo degradaci v životním prostředí. Všechny tyto faktory určují perzistenci a kapacitu PAU k bioakumulaci v potravním řetězci (PAHs in food, 2002, (CCME, 2010, Shafy a Mansour, 2016).

ÚČINKY NA LIDSKÉ ZDRAVÍ

Toxicita PAU pro vodní organizmy závisí na jejich metabolismu a fotooxidačních reakcích. PAU jsou obecně toxičtější v přítomnosti UV záření a mají středně až vysokou akutní toxicitu pro vodní organizmy a ptáky. Savci mohou absorbovat polycyklické aromatické uhlovodíky různými cestami (inhalací, kontaktem s kůží,

požitím). Rostliny mohou absorbovat PAU z půdy prostřednictvím kořenů a přesunout je do jiných částí rostlin. Míra vychytávání obecně závisí na jejich koncentraci, rozpustnosti ve vodě a fyzikálně-chemickém stavu a typu půdy. Nežádoucí účinky u živých organismů zahrnují nádory, postihují rozmnožování, vývoj a imunitu. Údaje týkající se fyto toxických účinků vyvolaných PAU jsou omezené.

Akutní (krátkodobé) účinky na zdraví

Akutní vliv PAU na lidské zdraví závisí na délce, cestě expozice, koncentraci PAU, jejich relativní toxicitě a faktorech organismu (zdravotní stav a věk). Schopnost PAU vyvolat akutní zdravotní účinky u lidí není jasná. Profesionální expozice vysokým hladinám PAU vedly k podráždění očí, nevolnosti, zvracení, průjmů a zmatenosti. Anthracen, benzo(a)pyren a naftalen přímo dráždí kůži a způsobují kožní alergickou reakci u zvířat a lidí (WHO, 2003, IARC, 2010).

Chronické (dlouhodobé) účinky na zdraví

Chronické (dlouhodobé) působení PAU na lidské zdraví vedlo ke snížení funkce imunitního systému, k poškození ledvin a jater, způsobilo problémy s dýcháním, astma a abnormality plicní funkce. Opakovaný kontakt s kůží může vyvolat její zarudnutí a zánět. Naftalen může v případě vdechnutí nebo požití ve velkém množství způsobit poškození červených krvinek. Potenciální škodlivé účinky PAU u živých organismů závisí na způsobu expozice (IARC, 2010, Kim et al., 2013).

Karcinogenita.

Biologické monitorování expozice PAU je primárním zájmem, a to kvůli jejich toxicitě a širokému rozšíření těchto sloučenin v životním prostředí. Hlavním problémem některých PAU je schopnost reaktivních metabolitů (epoxidů a dihydrodiolů) se vázat na buněčné proteiny a DNA, což vede k mutacím, malformacím, nádorům. Dlouhodobé studie naznačují, že pracovníci vystavení působení PAU vykazují zvýšené riziko vzniku rakoviny kůže, plic a gastrointestinálního traktu. Benzo(a)pyren je prvním objeveným chemickým karcinogenem a nejčastějším PAU způsobujícím rakovinu u zvířat. Na základě

vědeckých studií je řada PAU klasifikována jako karcinogenní pro zvířata a některé směsi bohaté na PAU jsou rovněž klasifikovány jako karcinogenní pro člověka (IARC, 2010). Americká agentura EPA zařadila následujících sedm sloučenin PAU mezi pravděpodobné lidské karcinogeny: benz(a)anthracen, benzo(a)pyren, benzo(b)fluoranten, benzo(k)fluoranten, chrysen, dibenz(ah)antracen a indeno(1,2,3-3-cd)pyren. (Zhang a Tao, 2009)

REFERENCES

1. Baklanov A, Hänninen O, Slørdal LH, Kukkonen J, Bjergene N, Fay B, et al. Integrated systems for forecasting urban meteorology, air pollution and population exposure. *Atmos Chem Phys* 2007;7.
2. CCME (Canadian Council of Ministers of the Environment). Canadian soil quality guidelines for potentially carcinogenic and other PAHs: scientific criteria document. CCME: Winnipeg: 2010.
3. IARC (International Agency for Research on Cancer), Some non-heterocyclic PAHs and some related exposures, *Monogr Eval Carcinog Risks Hum* 92 (2010)
4. Joint WHO, 2003. Risks of Persistent Organic Pollutants From Long-Range-Transboundary Air Pollutants. Joint WHO/Convention Task Force on the Health Aspects of Air Pollution.
5. Kim, Ki-Hyun, Jahan, Shamin Ara, Kabir Ehsanul, Brown, Richard J.C.
6. Lai IC, Lee CL, Zeng KY, Huang HC. Seasonal variation of atmospheric PAHs along the Kaohsiung coast, *Journal of Environmental Management*, 2011.
7. Masih J, Singhvi R, Kumar K, Jain VK, Taneja A. Seasonal variation and sources of PAHs indoor and outdoor air in a semi arid tract of Northern India. *Aerosol Air Qual Res* 2012 .
8. *PAHs in food 2002*. Opinion of the Scientific Committee of Food on the risks to human health of PAHs in food (2002).
http://europa.eu.int/comm/food/fs/sc/scf/index_en.html.



9. Shafy Hussein, Mansour Mona S.M. Egyptian Journal of Petroleum. A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation, 25, (2016).
10. WHO 2003. (World Health Organization). Polynuclear aromatic hydrocarbons in drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality; 2003 [WHO/SDE/WSH/03.04/59].
11. Zhang Y, Tao S. Global atmospheric emission inventory of PAHs for 2004. Atmospheric Environment, 2009.
12. Zhong Y, Zhu L. Distribution, input pathway and soil-air exchange of polycyclic aromatic hydrocarbons in Banshan Industry Park, China. Sci Total Environ 2013.





VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

CAMPUS OF INTERNATIONAL EXCELLENCE



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA



South-Eastern Finland
University of Applied Sciences

U. PORTO



UNIVERZITA
KARLOVA



Universitatea
TRANSILVANIA
din Braşov



ИКИТ

<https://toxoeer.com>

Project coordinator: Ana I. Morales
Headquarters office in Salamanca.
Dept. Building, Campus Miguel de Unamuno, 37007.
Contact Phone: +34 663 056 665



This work is licensed under a Creative
commons attribution – non commercial 4.0
international license